

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : 2001-272606

(43)Date of publication of application : 05.10.2001

(51)Int.Cl.

G02B 21/06

G02B 21/16

(21)Application number : 2000-083318

(71)Applicant : OLYMPUS OPTICAL CO LTD

(22)Date of filing : 24.03.2000

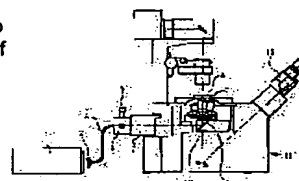
(72)Inventor : ABE KATSUYUKI
TAMURA KEISUKE

(54) ILLUMINATION OPTICAL SYSTEM AND MICROSCOPE PROVIDED WITH THE SAME

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide an illumination optical system and a microscope provided with the system capable of easily switching evanescent illumination and ordinary vertical illumination while using a laser beam having intensity high enough to excite fluorescence dye though an entire device is compact.

SOLUTION: The laser beam emitted from a light source 1 is made incident on an optical fiber 3 through a laser beam introducing mechanism 2. The emitting end of the optical fiber 3 is connected to an adapter 4 having a fiber position adjusting knob 5. The position of the rear side focal position FB of an objective lens 7 is conjugate to the emitting end of the optical fiber 3 by a condensing lens 14 provided in a vertical illumination light projecting tube 6, and the conventional vertical illumination and the evanescent illumination are performed by moving the position of the emitting end of the optical fiber 3.



LEGAL STATUS

[Date of request for examination]

[Date of sending the examiner's decision of rejection]

[Kind of final disposal of application other than the examiner's decision of rejection or application converted registration]

[Date of final disposal for application]

[Patent number]

[Date of registration]

[Number of appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of requesting appeal against examiner's decision of rejection]

[Date of extinction of right]

Copyright (C); 1998,2003 Japan Patent Office

BEST AVAILABLE COPY

THIS PAGE BLANK (USPTO)

(19)日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11)特許出願公開番号
特開2001-272606
(P2001-272606A)

(43)公開日 平成13年10月5日(2001.10.5)

(51)Int.Cl.⁷

識別記号

F I

キーワード*(参考)

G 0 2 B 21/06
21/16

G 0 2 B 21/06
21/16

2 H 0 5 2

審査請求 未請求 請求項の数 2 O L (全 10 頁)

(21)出願番号 特願2000-83318(P2000-83318)

(22)出願日 平成12年3月24日(2000.3.24)

(71)出願人 000000376

オリンパス光学工業株式会社
東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号

(72)発明者 阿部 勝行

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

(72)発明者 田村 恵祐

東京都渋谷区幡ヶ谷2丁目43番2号 オリ
ンパス光学工業株式会社内

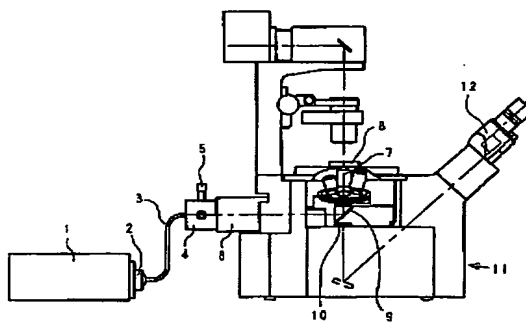
Fターム(参考) 2H052 AA09 AB02 AC00 AC02 AC04
AC12 AC26 AC34 AD03

(54)【発明の名称】 照明光学系及び照明光学系を備えた顕微鏡

(57)【要約】

【課題】 蛍光色素を励起するのに十分な強度を有するレーザー光を用いつつ、装置全体もコンパクトでありながら、容易にエヴァネッセント照明と通常の落射照明が切り替え可能な照明光学系及びこの照明光学系を備えた顕微鏡を提供する。

【解決手段】 光源1から射出されたレーザー光を、レーザー光導入機構2を介して光ファイバ3に入射させる。光ファイバ3の出射端はファイバ位置調整つまみ5を有するアダプタ4に接続されている。落射照明投光管6内に設けられた集光レンズ14によって、対物レンズ7の後側焦点位置 F_B の位置と光ファイバ3の出射端が共役になっており、光ファイバ3の出射端の位置を移動させることで従来の落射照明とエヴァネッセント照明が行えるようにした。



【特許請求の範囲】

【請求項1】 レーザ光源と、前記レーザ光源を発した光を光ファイバへ導入する導入光学系と、前記光ファイバを出射した光を試料に照射する照射光学系を備え、該照射光学系は、前記試料側に配置された第1の集光光学系と前記光ファイバ側に配置された第2の集光光学系を有し、前記第2の集光光学系は前記第1の集光光学系の後側焦点位置あるいはその近傍に前記光ファイバから射出された光を集光させ、前記光ファイバを前記照射光学系の光軸に垂直な面内で移動させる移動機構を備える照明光学系。

【請求項2】 レーザ光源と、前記レーザ光源を発した光を光ファイバへ導入する導入光学系と、前記光ファイバを出射した光を試料に照射する照射光学系を備え、該照射光学系は、前記試料側に配置された第1の集光光学系と前記光ファイバ側配置された第2の集光光学系を有し前記第2の集光光学系は前記第1の集光光学系の後側焦点位置あるいはその近傍に前記光ファイバから射出された光を集光させ、前記光ファイバを前記照射光学系の光軸に垂直な面内で移動させる移動機構を備え、前記ファイバを前記照射光学系の光軸上に位置させた第1の照明と、前記ファイバを前記照射光学系の光軸から離れて位置させた第2の照明を有する顕微鏡。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術の分野】本発明は顕微鏡に関し、特に全反射を利用して試料を照明する照明光学系、及び該照明光学系を備えた蛍光顕微鏡に関する。また、従来の落射照明光学系による照明と全反射を利用した照明の両方を使用できる顕微鏡に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、生物学の研究において、全反射を利用した照明（以下、エヴァネッセント照明とする）が蛍光色素の励起方法に用いられることが多くなってきている。その理由は、照明範囲が試料の深さ方向に対して極めて浅いため、バックグラウンドの影響を受けず、試料の表面付近の情報が高感度で得られるためである。

【0003】従来の落射照明光学系とエヴァネッセント照明とを具体的に比較すると、以下ようになる。従来の落射照明では図11に示すように、照明光は対物レンズを介して光軸に沿ってカバーガラス上の試料（図示せず）に照射される。この時、対物レンズの焦点位置近傍が最も照明強度が強く、焦点位置から離れるにしたがって照明強度は弱くなる。このように、照明光は試料の深さ方向に強度分布が変化しているがある範囲内で強度を有するため、その範囲に応じた試料の深さ方向すべての蛍光色素がほとんど励起されてしまう。そのため、対物レンズの焦点面以外の蛍光はバックグラウンド光となって観察され、S/N比を落としてしまう。

【0004】一方、エヴァネッセント照明は図12に示

すように、照明光は対物レンズを介して照射されるが、照明光は光軸に対して斜め方向から照射される。この時の照射角度は、カバーガラスと試料の境界で全反射が発生するよう角度に設定されている。ただし、照明光はこの境界で全て反射されるのではなく、一部のごくわずかの光はカバーガラスから試料側へにじみ出る。この境界からにじみ出た光がエヴァネッセント光で、試料の深さ方向へにじみ出だす量は使用する光源の波長程度となる。そこで、エヴァネッセント光を照明光として利用した場合、照明範囲は使用する光源の波長程度の深さに限られることから、蛍光を発する部分が極めて狭くそれ以外は蛍光を発しなくなり、通常の落射照明時と異なりバックグラウンドとなる蛍光が非常に少なくなる。従って、エヴァネッセント照明では極めて高いS/N比を実現でき、特に、細胞膜表面の観察やカバーガラス表面付近に局在する蛍光色素一分子の可視化に有効である。

【0005】このエヴァネッセント照明を実現する手段としては、特開平9-159922号公報、特開平11-211990号公報、Noninvasive Techniques in Cell Biology (P93-127, Wiley-liss, Inc 1990) が知られている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】しかしながら、上記の先行技術における構成では、エヴァネッセント照明は実現できるものの、照明光（励起光）としてのレーザ光は、レーザ光源と顕微鏡の間に配置された反射ミラーなどの光学素子を介して顕微鏡に導かれるように構成されている、このような構成だと、光学素子の調整を必要とする他、光学素子を埃から遮断するための覆いが必要となり、装置が大型化してしまう。また、レーザ光源と顕微鏡の配置の自由度も制限される。

【0007】また、このエヴァネッセント照明をするためには、試料に対する照明光の照射角度が重要で、全反射が生じる角度にしなければならない。ところが、この全反射を生じる角度は角度ずれに敏感であるため、少しでも照射角度がずれると全反射が生じなくなってしまう。この角度ずれが生じる原因の一つとしては、外部からの振動が挙げられる。レーザ光源や顕微鏡、あるいは光学素子に振動が伝わると、これらの部材が振動する。その結果、レーザ光の照射位置や照射角度が微妙に変動しづれを生じる。そのため、レーザ光源と顕微鏡を防振台の上に一体で配置する必要がある。また、レーザ光源から顕微鏡までレーザ光を導く間に、レーザ光の光束径を広げるビームエキスパンダや集光レンズ等の光学系が必要になるが、これらの光学系も同じ防振台の上に配置しなければならないので、結果的に装置全体が大型化してしまう。

【0008】また、Noninvasive Techniques in Cell Biologyでは水銀ランプを用い、照明光路途中に輪帯状の開口を有する円錐状のプリズム（アキシコンプリズム）

を挿入することでエヴァネッセント照明を実現する旨が記載されている。アキシコンプリズムを使用すれば、確かに水銀ランプの一点から発した光については輪帯状にすることはできる。しかしながら、実際の水銀ランプの発光領域は0.5mm以上の大きさを有しているため、輪帯状の光が重なり合うことになり、全体としてはほとんど輪帯状の光束にはならない。結局、この方法では絞りを多用して水銀ランプの一点から発した光束のみだけを取り出すようにする必要がある。しかし、これでは水銀ランプから発した光のほとんどが絞りでカットされてしまうため、照明強度が低下する恐れがある。

【0009】このような問題に鑑み、本発明は、蛍光色素を励起するのに十分な強度を有するレーザ光を用いつつ、装置全体もコンパクトでありながら、容易にエヴァネッセント照明と通常の落射照明が切り替え可能な照明光学系、及びこの照明光学系を備えた顕微鏡を提供することである。

【0010】

【課題を解決するための手段】上記の目的を達成するため、本発明の照明光学系は、レーザ光源と、前記レーザ光源を発した光を光ファイバへ導入する導入光学系と、前記光ファイバを出射した光を試料に照射する照射光学系を備え、該照射光学系は、前記試料側に配置された第1の集光光学系と前記光ファイバ側に配置された第2の集光光学系を有し、前記第2の集光光学系は前記第1の集光光学系の後側焦点位置あるいはその近傍に前記光ファイバから射出された光を集光させ、前記光ファイバを前記照射光学系の光軸に垂直な面内で移動させる移動機構を備えることを特徴とする。

【0011】また、本発明の顕微鏡は、レーザ光源と、前記レーザ光源を発した光を光ファイバへ導入する導入光学系と、前記光ファイバを出射した光を試料に照射する照射光学系を備え、該照射光学系は、前記試料側に配置された第1の集光光学系と前記光ファイバ側任意配置された第2の集光光学系を有し、前記第2の集光光学系は前記第1の集光光学系の後側焦点位置あるいはその近傍に前記光ファイバから射出された光を集光させ、前記光ファイバを前記照射光学系の光軸に垂直な面内で移動させる移動機構を備え、前記ファイバを前記照射光学系の光軸上に位置させた第1の照明と、前記ファイバを前記照射光学系の光軸から離れて位置させた第2の照明を有することを特徴とする。

【0012】

【発明の実施の形態】以下、本発明の実施形態について、図面に基づいて説明する。

(第1実施例) 第1実施例を図1乃至図4に示す。図1は本発明の照明光学系を備えた倒立型の蛍光顕微鏡である。図1において1は光源、2はレーザ光導入機構、3は光ファイバ、4はアダプタ、5はファイバ位置調整つまみ、6は落射照明投光管、7は対物レンズ、8は試

料、9はダイクロイックミラー、10は吸収フィルタ、11顕微鏡本体、12は観察鏡筒である。

【0013】光源1はレーザ光源であって、光源1から射出したレーザ光はレーザ光導入機構2を介して光ファイバ3に導かれる。レーザ光導入機構2は図2に示すようにレンズ13からなる導入光学系を有しており、光源1から射出された略平行なレーザ光を光ファイバ3の入射端面に集光する。なお、光ファイバ3のコア径に応じて、レンズ13よりも光源1側レーザ光の光束径を拡大あるいは縮小する光束径変換光学系が配置される場合がある。この場合、導入光学系はレンズ13と光束径変換光学系とで構成されることになる。また、光ファイバ3の開口数よりも、レンズ13で集光される光束で決まる開口数のほうが小さいことが望ましい。

【0014】光ファイバ3に入射したレーザ光は、光ファイバ3内を伝播し出射端に達する。光ファイバ3の出射端はアダプタ4に接続されている。アダプタ4は落射照明投光管6に接続され、光ファイバ3から射出したレーザ光を落射照明投光管6に導く。アダプタ4内には公知の調整機構が備えられており、光ファイバ3の出射端はこの調整機構に保持されている。公知の調整機構は、光ファイバ3を光軸方向や光軸に垂直な面内方向に移動させることができるほか、光軸に対する傾を調整できるようにになっている。この調整機構にはファイバ位置調整つまみ5が設けられ、ファイバ位置調整つまみ5を操作することにより光ファイバ3の出射端の位置が外部から調整できるようになっている。

【0015】光ファイバ3の出射端から射出したレーザ光は、落射照明投光管6内を通過してダイクロイックミラー9に入射する。レーザ光はダイクロイックミラー9によって対物レンズ7に向けて反射され、対物レンズ7を介して試料8に照射される。試料8から発生した蛍光は対物レンズ7、ダイクロイックミラー9、吸収フィルタ10を通過して観察鏡筒12に達する。

【0016】図3及び図4は落射照明投光管6内に設けられた照明光学系の主要部で、光ファイバ3から射出されたレーザ光を試料8に照射する照射光学系15を示している。照射光学系15は、試料側に配置された対物レンズ7(第1の集光光学系)と光ファイバ3側に配置された集光レンズ14(第2の集光光学系)で構成されている。図3は従来の落射照明(ケーラー照明)を行う場合の光学配置を示す図で、図4はエヴァネッセント照明を行う場合の光学配置を示す図である。いずれの図においても、簡単のためにダイクロイックミラー9は省略し、光ファイバ3から対物レンズ7までを直線的に表示している。

【0017】図3に示す従来の落射照明(第1の光路)では、光ファイバ3の出射端は照射光学系15の光軸16上に位置している。また、集光レンズ14は対物レンズ7の後側焦点位置 F_8 の位置と光ファイバ3の出射端

とが共役になるように配置されている。そのため、光ファイバ3から射出したレーザ光は対物レンズ7の後側焦点位置 F_B に一旦集光してから対物レンズ7に入射する。この結果、対物レンズ7から射出するレーザ光束は平行光束になり、試料8はケーラー照明によって照明されることになる。

【0018】一方、エヴァネッセント照明（第2の光路）を行う場合は、図4に示すように光ファイバ3の出射端面を、光軸16上の位置（破線で示す従来の照明位置）から光軸16以外の位置に移動させる。本実施例では、対物レンズ7の後側焦点位置 F_B における光軸16に垂直な面（以下、対物レンズ7の後側焦点面という）内を光ファイバ3の出射端の投影像が移動するように、光ファイバ3の出射端を移動させる。この時、光ファイバ3の出射端面から射出される光束の中心光線18（光ファイバ3から発散せずに直進する光線）が主光線となって対物レンズ7の後側焦点面に対して傾いて入射させるようにすると、照明光の利用効率を高くできるので好ましい。

【0019】また、光ファイバ3の出射端の移動に合わせて、光ファイバ3の出射端面の向きも変化させるほうが好ましい。また、光ファイバ3の出射端の移動軌跡が円弧状になるように、光ファイバ3を移動させるようにしても良い。図3では、従来の落射照明における光ファイバ3に比べ、エヴァネッセント照明における光ファイバ3の位置が集光レンズ14側に大きくずれているが、これは従来の落射照明とエヴァネッセント照明との違いを明確にするためで、実際にはわずかなずれ量である。光ファイバ3の出射端面の移動は、ファイバ位置調整つまみ5を操作して行う。なお、図1では調整つまみの数は1しか示されていないが、複数の調整つまみを設けて調整するようにしても構わない。

【0020】ファイバ位置調整つまみ5を操作して光ファイバ3の出射端を光軸上から光軸外にずらすと、対物レンズ7に入射する光束の角度が変化する。対物レンズ7から射出されるレーザ光は従来の落射照明と同じように平行光束のままであるが、光軸16に対して傾いて射出する。対物レンズ7から射出される光束の角度は、光ファイバ3の移動に伴って変化していく。

【0021】前述のように、エヴァネッセント照明は全反射を利用するものである。ここで、カバーガラス17の屈折率を n_1 、試料側の屈折率を n_2 とすると、光軸16を基準にしたときの対物レンズ7から射出される光束の角度 θ が $\sin^{-1}(n_2/n_1)$ よりも小さい場合、対物レンズ7から射出される光束はカバーガラス17及び試料8を通過していく。ところが、角度 θ が $\sin^{-1}(n_2/n_1)$ に等しくなる（あるいはそれ以上になる）と、カバーガラス17及び試料8（あるいは標本を保持する培養液や水）の境界で全反射が生じる。

【0022】そのため、ほとんどのレーザ光は試料8に

達しなくなるが、ごく一部のレーザ光はカバーガラス17と試料8の境界を超えて試料8側に達する（試料8側へにじみ出す）。この光がエヴァネッセント光（エヴァネッセント場）で、試料8側へにじみ出す光軸方向の量は照明光の波長程度である。このように、エヴァネッセント照明では、試料の光軸方向の照明範囲が波長程度と非常に狭いため、境界付近の標本の情報（蛍光）のみを高感度で検出することができる。

【0023】なお、本実施例の対物レンズ7は、対物レンズ7とカバーガラス17との間にイメージンオイルを満たして使用する液浸対物レンズであって、開口数は1.4である。また、カバーガラス17の屈折率は1.52で、イメージンオイルの屈折率は1.52である。したがって、カバーガラス17とイメージンオイルとの間で屈折はほとんど生じない。

【0024】以上述べたように、本実施例では光源から射出されたレーザ光を光ファイバで顕微鏡に導くように構成しているため、顕微鏡に対して光源を自由に配置することができ、レイアウトの自由度が高い。また、光源と顕微鏡の間に反射ミラーやリレーレンズなどの光学素子を配置する従来の構成では、顕微鏡までレーザ光を導くためにレーザ光を見ながらこれらの光学素子の配置位置や傾きを調整しなければならないが、本実施例のように光ファイバを用いるとレーザを見ながら調整する必要はなくなるので安全面で有効である。また、これらの光学素子を保持したり調整したりする機構が不要になるほか、光学素子を埃などから隔離するための防塵部材（カバー）など必要がないので装置を小型化ができる。また、調整はアダプタに設けられた1ヶ所だけで行えば良いので調整が容易に行える。

【0025】（第2実施例）第2実施例を図5に示す。図5も落射照明投光管6内に設けられた照明光学系の主要部を示したもので、第1実施例とは異なる光学配置を示している。光ファイバ3から射出されたレーザ光を試料8に照射する照射光学系20は、試料側に配置された対物レンズ7と光ファイバ3側に配置された集光レンズ系19で構成されている。本実施例においても、簡単のためにダイクロイックミラー9は省略し、光ファイバ3から対物レンズ7まで直線的に表示している。

【0026】集光レンズ系19は複数のレンズで構成され、対物レンズ7の後側焦点位置 F_B の位置と光ファイバ3の出射端が共役になるように配置されている。したがって、破線で示す位置に光ファイバ3がある場合は、光ファイバ3から射出したレーザ光は対物レンズ7の後側焦点位置 F_B に一旦集光した後に対物レンズ7に入射し、光軸16に平行なレーザ光束となって対物レンズ7から射出されるので、ケーラー照明となる。一方、エヴァネッセント照明を行う場合は、実線で示すように光ファイバ3の出射端面が光軸16から離れた位置に移動する。

【0027】本実施例では、集光レンズ系19は片側テレセントリック光学系であって、対物レンズ7側に対してテレセントリックになっている。したがって、光束光ファイバ3から射出された光束のうち中心光線（主光線）21は、集光レンズ系19に入射する時は光軸16に対して非平行になっているが、集光レンズ系19から射出する際には光軸16と平行になっている。また、光ファイバ3から射出された光束のうち周辺光線22、23は、それぞれ集光レンズ系19から射出する際には対物レンズの後側焦点位置 F_B で交わる収斂光線となる。

【0028】この結果、カバーガラス17と標本8の境界に照射される光束の範囲（照明範囲）Dは略円形になる。このように本実施例では、光ファイバ3から射出したレーザ光を全て利用することができるため、照明効率の高い照明が行える。

【0029】（第3実施例）第3実施例を図6に示す。図6も落射照明投光管6内に設けられた照明光学系の主要部を示す図である。光ファイバ3から射出されたレーザ光を試料8に照射する照射光学系は、試料側に配置された対物レンズ7と光ファイバ3側に配置された集光レンズ系24で構成されている。本実施例においても、簡単のためにダイクロイックミラー9は省略し、光ファイバ3から対物レンズ7まで直線的に表示している。

【0030】第2実施例と同様に、集光レンズ系24は複数のレンズで構成され、対物レンズ7の後側焦点位置 F_B の位置と光ファイバ3の出射端が共役になるように配置されている。したがって、破線で示す位置に光ファイバ3がある場合は、光ファイバ3から射出したレーザ光は対物レンズ7の後側焦点位置 F_B に一旦集光した後に対物レンズ7に入射し、光軸16に平行なレーザ光束となって対物レンズ7から射出されるので、ケーラー照明となる。一方、エヴァネッセント照明を行う場合は実線で示すように、光ファイバ3の出射端面が光軸16上の位置から光軸16以外の位置に移動する。

【0031】本実施例では、集光レンズ系24は両側テレセントリック光学系になっている。したがって、光ファイバ3から射出された光束のうち中心光線（主光線）26は、集光レンズ系24に入射する際も射出する際も、主光線26は光軸16と平行になっている。また、光ファイバ3から射出された光束のうち周辺光線は、それぞれ集光レンズ系24から射出する際には対物レンズの後側焦点位置 F_B で交わる収斂光線となる。

【0032】この結果、第2実施例と同様にカバーガラス17と標本8の境界に照射される光束の範囲（照明範囲）Dは略円形になる。よって、光ファイバ3から射出したレーザ光を全て利用することができるため、照明効率の高い照明が行える。また、本実施例の場合、光ファイバ3の移動は光軸に垂直な面内のみで良く、移動の際に光ファイバ3の出射端面を光軸16に対して傾ける必要もない。したがって、第1実施例や第2実施例に比べ

て、光ファイバ3の位置を調整する調整機構を簡略化することができ、操作性が向上する。

【0033】なお、図7は集光レンズ系24の具体例であって、2枚の正レンズ27、28で集光レンズ系24を構成したものである。光ファイバ3の出射端が正レンズ27の前側焦点面に配置され、正レンズ28後側焦点面に対物レンズ7の後側焦点位置 F_B が一致する構成となっている。図7では2枚のレンズで集光レンズ系が構成できるので、コスト的に有効である。

【0034】（第4実施例）第4実施例を図8に示す。図8も落射照明投光管6内に設けられた照明光学系の主要部を示す図である。光ファイバ3から射出されたレーザ光を試料8に照射する照射光学系25は、試料側に配置された対物レンズ7'と光ファイバ3側に配置された集光レンズ系24で構成されている。本実施例においても、簡単のためにダイクロイックミラー9は省略し、光ファイバ3から対物レンズ7まで直線的に表示している。

【0035】本実施例では、第3実施例の対物レンズ7の代わりに、別の対物レンズ7'が用いられた場合の様子を示すものである。図7と同様に、集光レンズ系25は2枚の正レンズ27、28で構成され、対物レンズ7の後側焦点位置 F_B が位置と光ファイバ3の出射端が共役になるように配置されている。

【0036】対物レンズ7'は第3実施例の対物レンズ7と異なる後側焦点位置 F_B' を有している。したがって、対物レンズ7の代わりに対物レンズ7'が用いられた場合、集光レンズ系24に対して後側焦点位置が Δ mmずれることになる。この場合、主光線26と周辺光線29、30は対物レンズ7'を射出する際に平行とはならない。そのため、一部の光線が全反射されなくなってしまう。その結果、カバーガラス17と標本8の境界に照射される光束の範囲（照明範囲）Dは略円形にならず、観察に必要な範囲を効率よく照明できなくなる。

【0037】そこで本実施例では、集光レンズ系24を光軸方向に移動する移動機構を備えることによって、対物レンズの交換に伴って生じる後側焦点位置の変化に応じて集光レンズ系24を光軸方向に移動させるようにしている。これによって、使用する対物レンズの後側焦点位置が異なっても、光ファイバ3から射出したレーザ光を常に後側焦点位置に集光させることができる。

【0038】なお、集光レンズ系24の移動に合わせて光ファイバ3も光軸方向に移動させても良い。この場合、光ファイバ3の出射端面が集光レンズ系24の前側焦点位置に一致するように光ファイバ3を移動させることが望ましい。

【0039】また、集光レンズ系24を構成するレンズ27とレンズ28を一体に移動させず、個別に移動させることもできる。レンズ27とレンズ28の個々の移動量を異ならせた場合、集光レンズ系24のテレセントリ

ック性が失われることになる。しかしながら、第1実施例のように、光ファイバ3の出射端面と対物レンズの後側焦点位置が共役になるようにレンズ27、28あるいは更に光ファイバ3を移動させれば、エヴァネッセント照明を行うことができる。

【0040】なお、図8では、レンズ27、28及び光ファイバ3の移動量はいずれも Δ となっているが、上述のように必ずしも同じ量移動させなければならないわけではない。

【0041】以上説明したように、本実施例においても、同じ移動量が同じから射出したレーザ光を全て利用することができるため、照明効率の高い照明が行える。また、本実施例の場合、光ファイバの移動は光軸に垂直な面内のみで良く、移動の際に光ファイバ3の出射端面を円弧状に移動させる必要もない。したがって、第1実施例や第2実施例に比べて、光ファイバ3の位置を調整する調整機構を簡略化することができ、操作性が向上する。

【0042】(第5実施例) 第5実施例を図9に示す。本実施例は第1実施例の変形例であって、全体構成を上方から見た図である。第1実施例と同じ構成については同じ番号を付し説明は省略する。本実施例では、倒立型顕微鏡31に設けてある落射照明投光管6の一端に、アダプタ32が接続されている。このアダプタ32は内部に光分割素子33を備えており、2つの方向から入射する光を一つの光路に合成する機能を有する。

【0043】そのため、アダプタ32の一方の入射端に第1実施例のアダプタ4を接続し、もう一方の入射端に落射照明で用いられる水銀ランプを接続すると、光源1からのレーザ光によるエヴァネッセント照明と水銀ランプによる従来の落射照明とが行える。したがって、複数の蛍光色素を用いた試料を観察する場合や試料の位置を探す場合には水銀ランプによる従来の落射照明を行い、試料を高感度で観察する場合にはエヴァネッセント照明による照明を行うというように、目的に応じて照明方法を切替えることができるので操作性や利便性が向上する。

【0044】なお、本実施例においても、光ファイバ3の射出端面を対物レンズ7の後側焦点位置に投影する光学系が落射照明投光管6内に設けられている。ただし、本実施例のように従来の落射照明で用いられる水銀ランプも使用する場合、従来の落射照明性能を維持する観点からすると、落射投光管6として従来の蛍光顕微鏡で用いられる落射照明投光管を用いることが良いこともある。この場合、従来の落射照明投光管の光学系を利用するかあるいは更に光学系を追加して、光ファイバ3の射出端面を対物レンズ7の後側焦点位置に投影できるように構成すれば良い。

【0045】また、光分割素子33としては、ミラー、ハーフミラー、ダイクロイックミラーなどがある。光分割素子33としてミラーを用いた場合は、ミラーを光路

中に挿脱することによってエヴァネッセント照明と従来の落射照明を切替えることができる。この場合、いずれの照明においても光量損失がない。また、光分割素子33としてハーフミラーを用いた場合は、ハーフミラーを光路中に挿脱する必要がなくなるので装置を簡素化できる。ただし、光量損失が生じる。また、光分割素子33としてダイクロイックミラーを用いた場合は、光量損失はほとんど生じない。

【0046】また、光源1とは別の波長のレーザ光を射出する光源、レーザ光導入機構、光ファイバ、アダプタ、ファイバ位置調整つまみを別に1セット用意し、水銀ランプ34の代わりにアダプタを介してアダプタ32に取り付けることもできる。この場合、複数の異なる波長によるエヴァネッセント照明が可能となる。

【0047】(第6実施例) 第6実施例を図10に示す。第1実施例と同じ構成については同じ番号を付し説明は省略する。図10は本発明の照明光学系を備えた正立型の蛍光顕微鏡である。図10において1は光源、2はレーザ光導入機構、3は光ファイバ、4はアダプタ、5はファイバ位置調整つまみ、6は落射照明投光管、7は対物レンズ、8は試料、9はダイクロイックミラー、10は吸収フィルタ、35は顕微鏡本体、12は観察鏡筒である。

【0048】本実施例では、光ファイバ3としてシングルモードファイバを用いている。シングルモードファイバを用いると光ファイバ3の出射端面の大きさが小さくなるため、対物レンズ7の後側焦点位置に投影される光ファイバ3の出射端面の像の大きさも小さくすることができる。この場合、従来の落射照明となる範囲に比べてエヴァネッセント照明となる範囲は極端に小さくなるが、その範囲内に確実に光ファイバの投影像を移動させることができ、従来の落射照明との切替えが容易になる。

【0049】なお、本実施例にかぎらず、第1実施例乃至第5実施例の光ファイバとしてシングルモードファイバを用いても構わない。以上、各実施例について説明したが、本発明には以下のような特徴も含まれる。

【0050】(1) レーザ光源と、前記レーザ光源を発生した光を光ファイバへ導入する導入光学系と、前記光ファイバを射出した光を試料に照射する照射光学系を備え、該照射光学系は、前記試料側に配置された第1の集光光学系と前記光ファイバ側配置された第2の集光光学系を有し、前記第2の集光光学系は前記第1の集光光学系の後側焦点位置あるいはその近傍に前記光ファイバから射出された光を集光させ、前記光ファイバを前記照射光学系の光軸に垂直な面内で移動させる移動機構を備える照明光学系。

【0051】(2) 前記第2の集光光学系は、略片側テレセントリック光学系であることを特徴とする(1)に記載の照明光学系。

(3) 前記第2の集光光学系は、略両側テレセントリック光学系であることを特徴とする(1)または(2)に記載の照明光学系。

【0052】(4) 前記移動機構は、前記光ファイバを前記照射光学系の光軸中心に対して略垂直な平面内で移動させることを特徴とする(3)に記載のレーザー顕微鏡。

(5) 前記第2の集光光学系は、二つの正レンズ成分からなることを特徴とする(3)に記載の照明光学系。

【0053】(6) 第2の集光光学系を構成するレンズ成分は、それぞれ前記照射光学系の光軸方向に移動可能なことを特徴とする(2)または(3)に記載の照明光学系。

【0054】(7) 導入光学系を構成するレンズ成分は、前記レーザー光源の射出光軸方向に移動可能なことを特徴とする(2)または(3)に記載の照明光学系。

(8) 前記略片側テレセントリック光学系は、前記第1の集光光学系側がテレセントリックになっている(2)に記載の照明光学系。

【0055】(9) レーザ光源と、前記レーザー光源を発生した光を光ファイバへ導入する導入光学系と、前記光ファイバを出射した光を試料に照射する照射光学系を備え、該照射光学系は、前記試料側に配置された第1の集光光学系と前記光ファイバ側配置された第2の集光光学系を有し、前記第2の集光光学系は前記第1の集光光学系の後側焦点位置あるいはその近傍に前記光ファイバから射出された光を集光させ、前記光ファイバを前記照射光学系の光軸に垂直な面内で移動させる移動機構を備え、前記ファイバを前記照射光学系の光軸上に位置させた第1の照明と、前記ファイバを前記照射光学系の光軸から離れて位置させた第2の照明を有する顕微鏡。

【0056】(10) 前記第2の照明は前記標本近傍で全反射を生じる(9)記載の顕微鏡。

【0057】

【発明の効果】以上説明したとおり、本発明によれば、十分な照明強度を有するレーザー光を用いながらも、装置全体もコンパクトでありながら、エヴァネッセント照明と通常の落射照明が容易に切り替え可能な照明光学系及び顕微鏡を提供することができる。

【0058】また、照明光学系の一部にテレセントリック光学系を用いることにより光ファイバからの出射光を効率よくエヴァネッセント照明として利用することができる。

【0059】また、前記光ファイバーを光軸中心に対して移動させる方向が略垂直面内にあることで、移動機構が簡略化されるだけでなく、エヴァネッセント照明と通常の落射照明との切り替え時の操作性を向上することができる。

【0060】また、照明光学系の少なくとも一部を光軸方向に移動させることにより、後側焦点位置が異なる対

物レンズを用いた場合でも、光ファイバを出射した光を前記対物レンズの略後側焦点位置付近に集光させることができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の第1実施例の照明光学系を備えた倒立型の蛍光顕微鏡の構成を示す図。

【図2】レーザー光導入機構を示す図。

【図3】第1実施例の照明光学系の主要部を示す図であって、ケーラー照明の場合の構成。

【図4】第1実施例の照明光学系の主要部を示す図であって、エヴァネッセント照明の場合の構成。

【図5】照明光学系の主要部を示す第2実施例を示す図。

【図6】照明光学系の主要部を示す第3実施例を示す図。

【図7】照明光学系の主要部を示す第3実施例を示す図であって、具体的なレンズ構成の一例。

【図8】照明光学系の主要部を示す第4実施例を示す図。

【図9】第5実施例の構成を示す図であって、第1実施例の変形例を示す図。

【図10】本発明の照明光学系を備えた正立型の蛍光顕微鏡の構成を示す図。

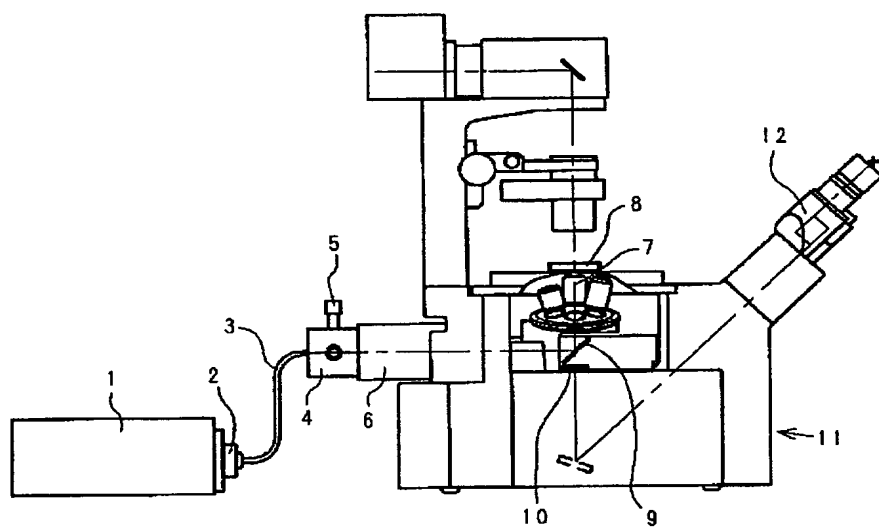
【図11】従来の落射照明を示す図。

【図12】エヴァネッセント照明を示す図。

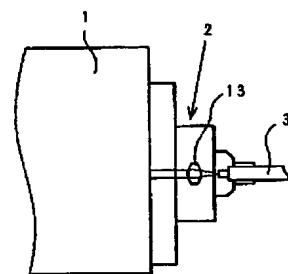
【符号の説明】

- 1 光源
- 2 レーザ光導入機構
- 3 光ファイバ
- 4、32 アダプタ
- 5 ファイバ位置調整つまみ
- 6 落射照明投光管
- 7 対物レンズ
- 8 試料
- 9 ダイクロイックミラー
- 10 吸収フィルタ
- 11、35 顕微鏡本体
- 12 観察鏡筒
- 13 レンズ(導入光学系)
- 14 集光レンズ
- 15、20、25 照射光学系
- 16 光軸
- 17 カバーガラス
- 18、21、26 光束の中心光線(主光線)
- 19、24 集光レンズ系
- 22、23、29、30 周辺光線
- 27、28 正レンズ
- 31 倒立型顕微鏡
- 33 光分割素子

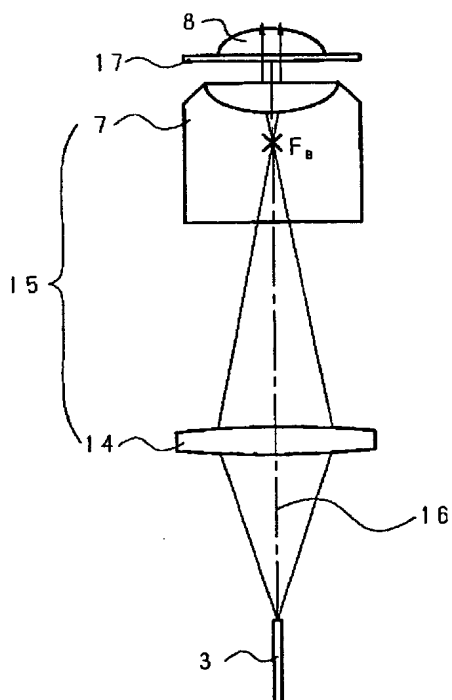
【図1】



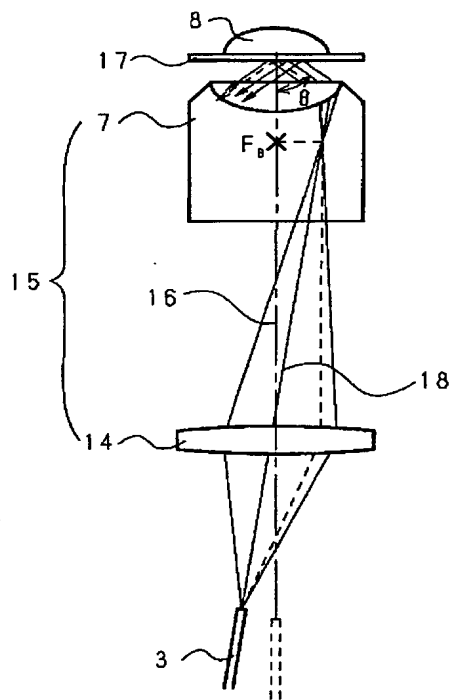
【図2】



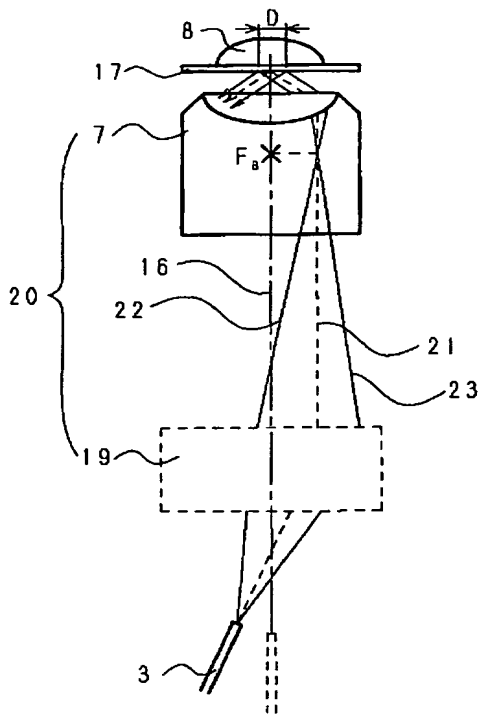
【図3】



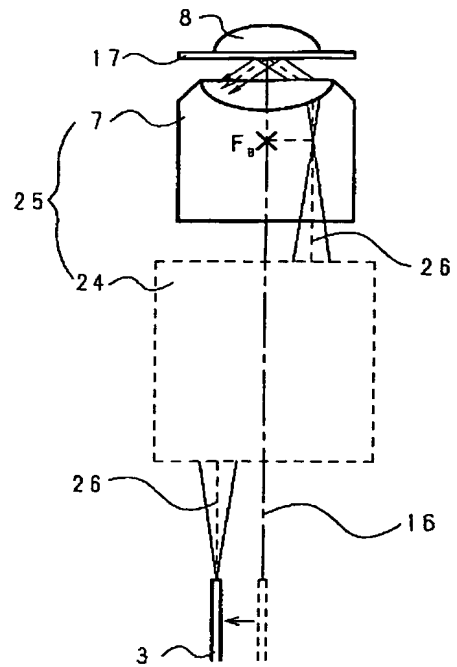
【図4】



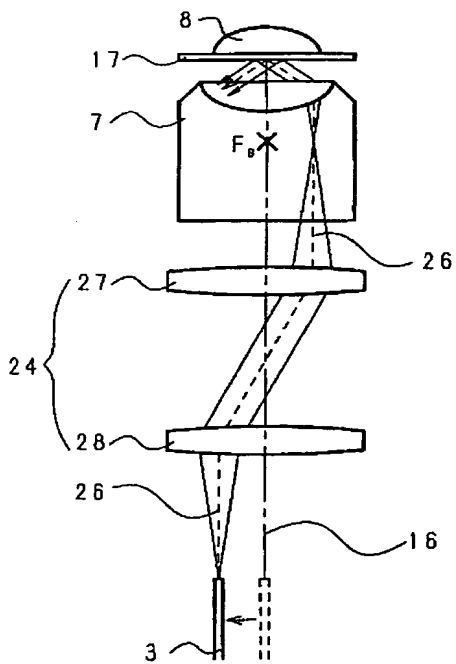
【図5】



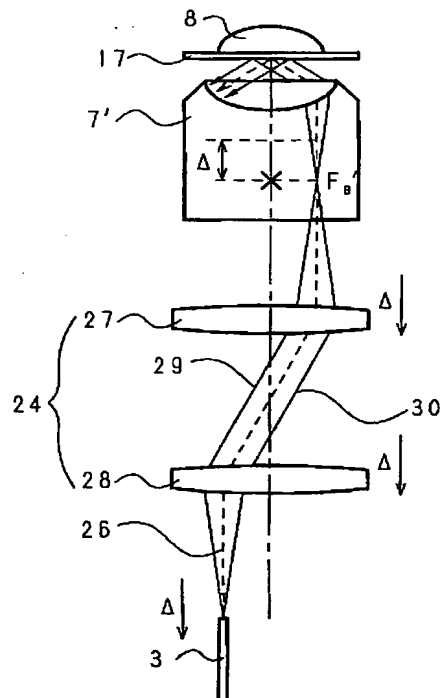
【図6】



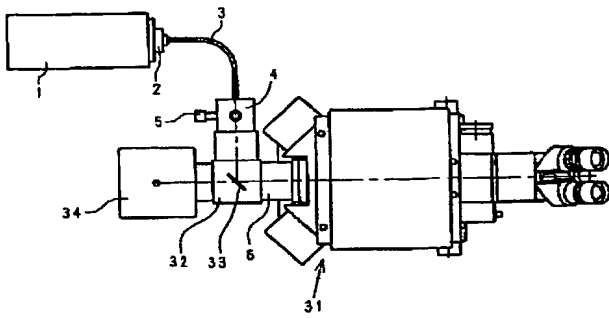
【図7】



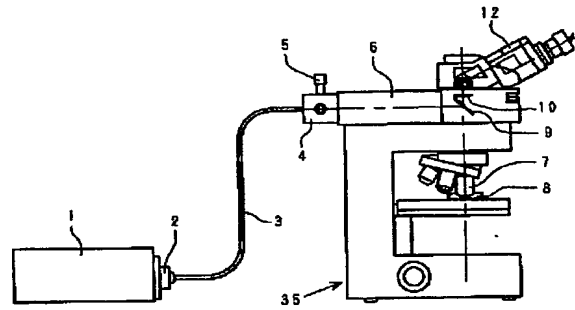
【図8】



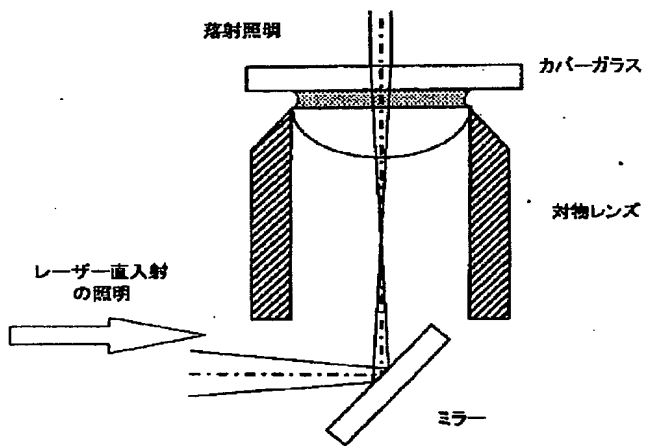
【図9】



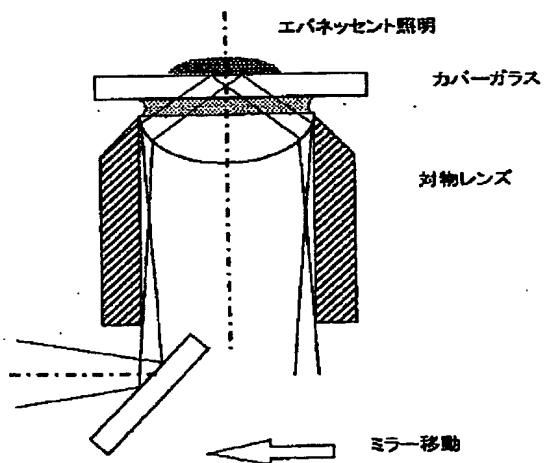
【図10】



【図11】



【図12】



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record.**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☒ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☒ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.

THIS PAGE BLANK (USPTO)